

A l'écoute de Jupiter

Jean-Louis RAULT F6AGRⁱ



Radioastronomie... Ce mot évoque des paraboles géantes pointées vers le ciel, d'immenses champs de capteurs alignés au cordeau jusqu'à l'horizon, des préamplificateurs performants refroidis à l'azote liquide, des moyens informatiques très puissants. L'ampleur des moyens mis en œuvre est telle qu'il paraît impossible à un simple particulier de se lancer à l'écoute du ciel et d'obtenir des résultats.

Et pourtant ... Le ciel fourmille de signaux radioélectriques naturels dont certains sont suffisamment puissants pour être détectés, enregistrés et interprétés avec des moyens qui restent à la portée d'un radioamateur.

Puisse cet article, qui se veut orienté « travaux pratiques » vous donner le goût d'expérimenter dans ce domaine peu connu dans notre milieu radioamateur, et vous permettre d'obtenir vous-même des résultats concrets, tangibles et reproductibles !

1. Généralités

L'univers recèle une quantité innombrable de radiosources qui rayonnent dans un très large spectre radioélectrique qui s'étend de quelques kilohertz à plusieurs centaines de gigahertz.

Tous ces signaux ne peuvent être détectés à la surface de la Terre parce que certaines bandes de fréquences sont absorbées ou réfléchies par l'atmosphère et l'ionosphère, parce que leur amplitude est trop faible, ou parce enfin qu'ils sont masqués par des signaux indésirables d'origine humaine ou naturelle (parasites industriels et domestiques, orages, etc)

Parmi les mécanismes naturels d'émission des radiosources, on peut distinguer :

- des signaux de type thermique, qui couvrent un spectre continu de fréquences, et dont la forme du spectre dépend de la température du corps qui les rayonne,
- des signaux non-thermiques d'origines très variées, dont le spectre est plus ou moins large et se réduit parfois à des raies de fréquences pures fixes ou variables dans le temps.

A titre d'exemple de signaux non-thermiques, on citera par exemple la raie 21 cm émise par des nuages interstellaires d'hydrogène neutre, raie émise par des atomes dont l'électron saute d'un niveau d'énergie à l'autre (chaque saut correspondant à l'émission ou à l'absorption d'un photon de fréquence 1420 MHz).

Des émissions radioélectriques très variées surviennent lorsque des électrons libres qui se déplacent sont déviés de leur course. Ainsi, les plasmas sont des sources

extrêmement fréquentes de signaux radio naturels lorsqu'il baignent dans un champ magnétique. Dans de tels milieux, des électrons en mouvement se propagent le long d'une ligne de champ magnétique en « s'enroulant » autour d'elle et en émettant des ondes électromagnétiques dont la fréquence est proportionnelle à la valeur de l'induction du champ magnétique.

La fréquence de cette émission gyromagnétique est donnée par la relation :

$$\nu = e B / 2 \pi m \quad (1)$$

dans laquelle e représente la charge électrique de l'électron, B l'induction magnétique et m la masse de l'électron.

Ce type d'émission gyromagnétique donne une variété très grande de signaux qui sont émis par exemple dans les magnétosphères entourant certaines planètes (dont la Terre et Jupiter) et les étoiles (dont le Soleil).

2. Un exemple de radiosource : le Soleil

Puisque nous avons décidé de faire nos premiers pas en radioastronomie avec des moyens de réception de niveau amateur, il nous faut nous tourner vers des radiosources très puissantes et relativement proches ...

Une source bien connue est notre Soleil qui, outre sa chaleur et sa lumière, nous bombarde d'ondes radio détectables avec un équipement de réception décimétrique, VHF ou UHF des plus courants.

Avec une antenne Yagi orientable en site et en azimut comme on en utilise pour le trafic OM par satellite, il est possible de détecter et d'enregistrer le bruit radio émis par le Soleil à toute heure de la journée.

Même une simple Yagi horizontale permettra déjà de détecter le bruit radio du Soleil lorsqu'il est bas sur l'horizon.



Figure 1 : Bruit du Soleil sur 435 MHz

La figure 1 donne un exemple de réception du bruit du Soleil reçu dans la bande 435 MHz.

Pour cet enregistrement, les conditions utilisées étaient les suivantes :

- antenne yagi 2 x 21 éléments croisés à polarisation circulaire (une Yagi simple à polarisation plane aurait suffi)
- préamplificateur au niveau de l'antenne (0,8 dB de facteur de bruit)
- transceiver ICOM IC-821H
- logiciel d'enregistrement graphique JoveChart (voir plus loin)

L'axe horizontal du graphique représente le temps écoulé pendant que l'antenne balaye le ciel à vitesse régulière. L'axe vertical donne l'amplitude mesurée en sortie BF du récepteur. Le pic de la courbe correspond au moment où l'antenne pointe directement vers le Soleil et est donc représentatif du bruit thermique et non-thermique rayonné par notre astre.

On notera au passage que la forme de la courbe reflète grossièrement la forme du lobe de directivité de l'antenne utilisé pour la réception.

Si l'on enregistre le signal reçu du Soleil pendant une certaine durée, en prenant soin de le suivre dans sa course en site et en azimut, on pourra constater des variations importantes de l'amplitude reçue : l'activité radio solaire varie au gré de perturbations diverses et d'orages magnétiques. On en conclut qu'on ne peut utiliser le Soleil en guise de source de bruit stable et calibrée !

Toute station VHF / UHF équipée d'une bonne antenne Yagi et d'un récepteur modérément performant est à même de procéder à de tels enregistrements : vous avez peut-être chez vous un radiotélescope qui s'ignore !

3. Une radiosource décamétrique à notre portée : Jupiter

3.1. Les sursauts décamétriques de Jupiter

Les signaux décamétriques de Jupiter trouvent leur source dans la magnétosphère qui entoure cette planète.

Les sursauts S (comme short, c'est-à-dire courts) sont produits par des paquets d'électrons qui s'éloignent rapidement de Jupiter en tournoyant le long de lignes de force du puissant champ magnétique de la planète (voir figure 2).

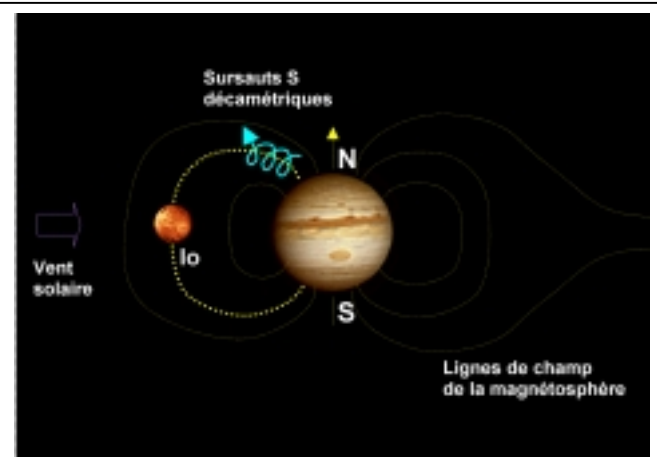


Figure 2 : Magnétosphère de Jupiter

La fréquence émise, qui dépend de la valeur locale du champ magnétique, est globalement égale à 2,8 fois la valeur du champ magnétique (voir formule 1 ci-dessus). Au plus près de Jupiter, le champ avoisine les 14 Gauss, ce qui nous donne une fréquence d'émission très pure d'environ 39 MHz



Figure 3 : Influence de Io sur les émissions

qui décroît rapidement comme le champ magnétique, en raison du cube de la distance. Il existe également des sursauts longs (L bursts) qui ressemblent à des bouffées de bruit blanc.

D'où proviennent ces électrons qui sont à l'origine des émissions radio? Io, une des lunes qui gravite autour de Jupiter en 42 heures est une source intense de plasma, à cause de ses volcans très actifs. La théorie en vogue actuellement indique que les électrons du tore de plasma produit par Io le long de son orbite auront au préalable été précipités vers Jupiter par des ondes de Alfvén prenant naissance dans le sillage de Io. C'est lorsqu'ils s'éloignent à nouveau de Jupiter que les émissions radio ont lieu.

Sachant que les électrons en giration émettent leurs ondes radio uniquement le long du bord étroit d'un cône (voir figure 3), on comprendra qu'il faut qu'une arête de ce cône soit dirigée vers la Terre pour que nous puissions recevoir ces ondes.

Il faut donc que Io soit à des endroits bien précis de son orbite (nommés Io-B et Io-A sur la figure), pour que nous ayons une chance d'entendre quelque chose.

Il faut également que Jupiter, qui tourne sur lui-même en environ 9 h 50 mn, présente vers nous certaines zones précises de son champ magnétique pour que les phénomènes de sursauts S et L aient lieu.

3.2. Les moyens à mettre en œuvre

Notre défi consiste à capter, détecter et identifier les émissions décimétriques de la planète Jupiter. Pour ce faire, la méthode que nous proposons, car elle nous paraît la plus efficace et la moins contraignante, consiste dans un premier temps à acquérir les signaux en accordant le récepteur sur une ou des fréquences propices et à les enregistrer pendant des périodes favorables déterminées à l'avance, puis à dépouiller en temps différé les enregistrements précédemment effectués.

Il est intéressant d'automatiser les tâches de capture/enregistrement des signaux, car les émissions de Jupiter sont susceptibles de surgir à l'improviste au cours de périodes favorables prédéterminées qui peuvent durer plusieurs heures. Sans automatisation, il faudrait rester de longues heures (le plus souvent en pleine nuit !) devant le récepteur à s'écourcher les oreilles avec du bruit de fond inutile et des parasites divers.

De quoi se compose notre « radiotélescope décimétrique » ?

- d'une antenne la plus simple possible mais néanmoins suffisante pour présenter

au récepteur des signaux jupitériens facilement détectables,

- d'un filtre présélecteur centré sur la bande de fréquences à recevoir (ce filtre est facultatif, mais très utile devant les récepteurs sujets aux phénomènes de transmodulation)
- d'un récepteur décimétrique accordable de 18 à 22 MHz environ
- d'un PC équipé d'une carte son destinée à enregistrer en temps réel les signaux audio du récepteur, puis à analyser en temps différé les signaux enregistrés.

Détaillons maintenant tous ces sous-ensembles.

3.2.1. Le système d'antennes

L'antenne doit avoir un gain suffisant pour que les signaux utiles aient une amplitude de quelques dixièmes de microvolts ou plus en entrée du récepteur, ce qui permettra de les identifier convenablement.

Les sursauts décimétriques de Jupiter arrivent sur Terre avec une intensité pouvant atteindre ou dépasser 100 000 janskysⁱⁱ. Dans ces conditions, une antenne Yagi 3 éléments ou une antenne Quad 2 éléments feraient parfaitement l'affaire à condition de pouvoir les orienter en azimuth ... et en site, car les conditions les plus favorables à la

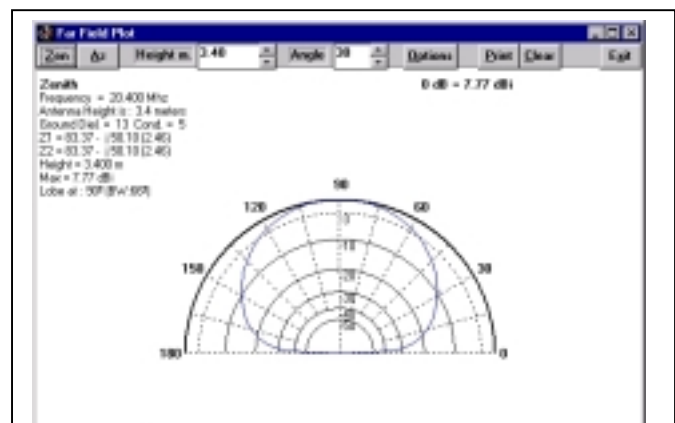


Figure 4 : Directivité de deux dipôles en phase

réception se produisent lorsque Jupiter est haut sur l'horizon. Une telle installation, bien que performante, ne répond pas à notre exigence de simplicité, et nous choisirons plutôt un ensemble de dipôles fixes couplés électriquement.

L'antenne de base se compose de deux dipôles demi-onde horizontaux, parallèles et distants d'une demi longueur d'onde. Les dipôles seront installés à une distance du sol égale à un quart de longueur d'onde.

Il est important de respecter cette hauteur : vouloir placer les dipôles plus haut, dans l'intention de les dégager d'obstacles avoisinants, conduirait à déformer les lobes de directivité et irait à l'encontre des performances escomptées.

Il est donc primordial de respecter cette hauteur d'un quart de longueur d'onde au dessus du sol, et de placer les antennes dans un endroit très bien dégagé.

Puisque le sol participe activement aux performances de l'antenne, on choisira un terrain le plus humide possible et donc bon conducteur.

Si l'on combine en phase les signaux de ces deux dipôles, on obtient un lobe de directivité pointant vers le zénith (voir figure 4).

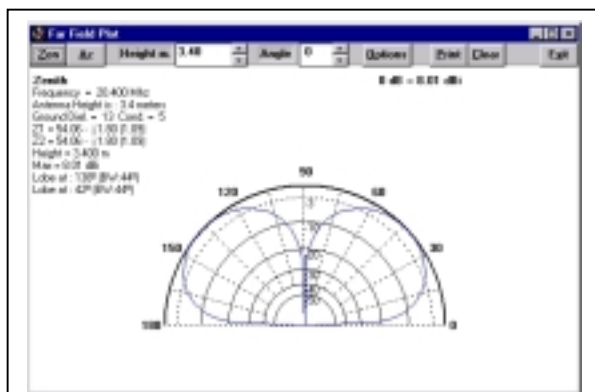


Figure 5 : Directivité de deux dipôles en opposition de phase

Si l'on additionne les signaux des dipôles en opposition de phase, le diagramme de l'antenne se transforme en deux lobes de directivité pointant à 45 ° au dessus de l'horizon, avec un creux très marqué vers le haut (voir figure 5).

De cette façon, une paire de dipôles tendus dans le sens Est Ouest et couplés en opposition de phase présentera son gain maximal selon un axe Nord Sud, et vers le zénith lorsqu'ils seront couplés en phase.

Il nous faut 4 mâts pour supporter ces deux dipôles. Profitons de ces mâts pour installer à moindres frais un deuxième couple de dipôles tendus dans le sens Nord Sud.

Avec ces 4 dipôles, nous obtenons donc une antenne mécaniquement fixe mais dont le diagramme de directivité peut être orienté par de simples commutations électriques vers le zénith ou dans les sens Nord-Sud ou encore Est-Ouest. Voilà un système mécaniquement simple et robuste qui permet de suivre au mieux Jupiter dans sa course.

Abordons maintenant les détails pratiques concernant la réalisation de ce système d'antennes.

La figure 6 représente l'ensemble du système d'antennes installé. Toutes les cotes données ci-dessous correspondent à un système d'antennes taillé pour fonctionner aux environs de 20 MHz. Une simple règle de trois permettrait au besoin de déterminer les longueurs de fil, les distances d'écartement et les hauteurs d'antennes correspondant à une autre bande de fréquences.

Chaque mât est constitué de 2 tubes PVC d'un diamètre de 40 mm et d'une longueur de 2 m que l'on emboîte l'un dans l'autre grâce à un raccord collé avec une colle « spéciale PVC » sur un deux

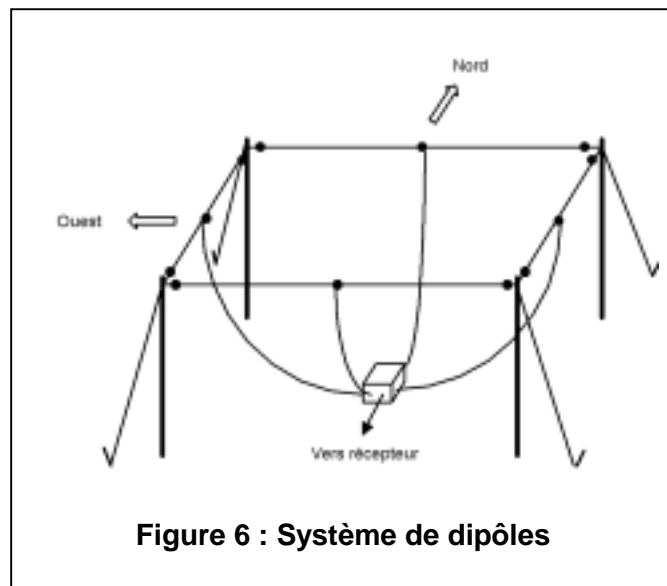


Figure 6 : Système de dipôles

tubes seulement.

Grâce à cette disposition, chaque mât est démontable et donc facilement transportable.

Une solution plus lourde et plus onéreuse consiste à utiliser des tubes en acier cadmié de 2 m de long prévus d'origine pour s'emboîter l'un dans l'autre, utilisés habituellement pour l'installation d'antennes TV.

Les 4 mâts sont installés aux coins d'un carré de 7,50 m de côté.

L'un des côtés du carré est orienté dans l'axe Nord Sud.

Un seul hauban (cordelette en nylon) de 6 m de long par mât est suffisant pour assurer la stabilité de l'ensemble érigé. Chaque hauban est fixé au sol par un simple piquet planté de façon inclinée.

Chaque dipôle est suspendu à 3,50 m du sol.

La longueur totale de chaque dipôle est égale à 6,82 mètres.

Il faut prévoir des longueurs de 3,61 m de fil de cuivre de 20/10 sous plastique pour chaque brin du dipôle, afin de tenir compte des longueurs supplémentaires nécessaires pour faire les épissures de fixation des fils sur l'isolateur central et sur les isolateurs d'extrémité. Une fois les isolateurs mis en place, chaque demi dipôle devra faire exactement 3,41 m.

On utilisera comme isolateurs des noix de porcelaine (on trouve encore de tels isolateurs chez les installateurs d'antennes TV) ou plus simplement des tronçons de 6 cm de tube PVC de

diamètre 12 mm que l'on perce à chaque extrémité pour permettre la fixation des fils d'antenne.

Chaque dipôle sera équipé d'une descente en câble coaxial 75 Ω TV ordinaire (la qualité supérieure type « satellite » à faibles pertes n'est pas nécessaire). Le câble coaxial sera fixé mécaniquement sur l'isolateur central grâce à un fil fin isolant (fil à pêche par exemple) pour que son poids ne soit pas soutenu par les soudures de son âme et de sa tresse.

L'âme du câble sera soudée à l'un des brins du dipôle, le blindage du câble à l'autre brin. Les parties de cuivre nu et les soudures exposées à l'air libre seront protégées contre les intempéries par du vernis ou par un joint siliconé genre Rubson.

Chaque descente coaxiale sera taillée à une longueur équivalente à une demi longueur d'onde, soit 4,95 m pour du câble coaxial TV ordinaire dont l'isolant est du polypropylène plein (qui possède un facteur de vélocité est de 66%).

L'extrémité inférieure du câble sera équipé d'une prise coaxiale type F (type de prise

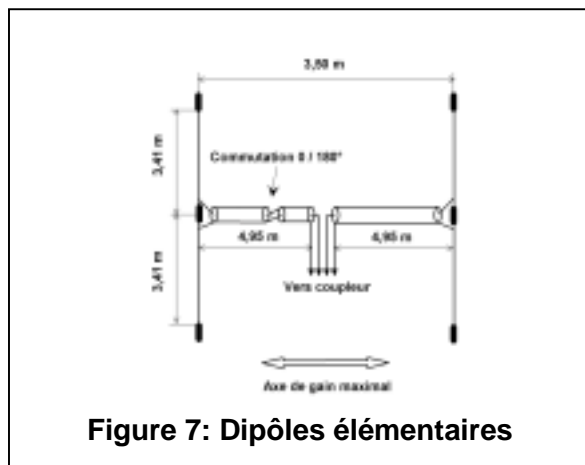


Figure 7: Dipôles élémentaires

utilisée en TV satellite) permettant de se raccorder au système de couplage électrique des paires de dipôles.

Pour sommer les signaux d'une paire de dipôles, nous allons employer un coupleur passif à ferrites du modèle qu'on utilise en radio-TV pour alimenter deux récepteurs à partir d'une même antenne. Le répartiteur hertzien (c'est son nom commercial) de marque VISIONIC modèle 2402 est parfait pour notre usage. L'emballage plastique de l'objet stipule une gamme de fonctionnement s'étendant de 40 à 852 MHz, ce qui laisse croire que le dispositif ne convient pas à notre application, mais le répartiteur comporte lui-même une étiquette promettant une bande passante de 5 à 852 MHz.

Effectivement, ce type de coupleur fonctionne efficacement vers 20 MHz, et c'est bien ce que nous attendons de lui !

Nous connecterons donc les deux dipôles correspondant à la direction à viser (Nord Sud ou Est Ouest) aux deux entrées du coupleur, et la sortie de ce dernier sera connectée via une fiche de type F à un câble coaxial 75 Ω de longueur quelconque et suffisante pour atteindre le récepteur.

Nous avons vu précédemment que pour changer la forme du diagramme de réception, il fallait connecter les dipôles en phase ou en opposition de phase. Pour ce faire, le plus simple est de couper un des câbles coaxiaux au niveau du coupleur à ferrites et de munir les âmes et tresses de chacun des morceaux de fiches banane et de douilles correspondantes. Pour obtenir une opposition de phase de 180°, il suffira simplement de relier l'âme d'un morceau du câble coaxial au blindage de l'autre, et inversement (voir figure 7).

Le système décrit ci-dessus est simplifié au maximum : en fonction de la position de Jupiter dans le ciel, il faudra se rendre au pied du système d'antennes pour connecter la paire de dipôles Nord/Sud ou Est/Ouest au coupleur à ferrites puis choisir la mise en phase ou en opposition de phase des dipôles choisis, selon que Jupiter est haut ou bas sur l'horizon.

Rien n'interdit bien sûr de concevoir un système plus sophistiqué à base de relais HF permettant de commander toutes ces commutations à distance !

On prendra soin d'enfermer le coupleur à ferrites et les systèmes de commutation phase/antiphase dans un boîtier en matière plastique (Tupperware ou boîtier électrique Legrand par exemple) pour protéger les contacts de l'humidité nocturne.

3.2.2. Le filtre présélecteur

Selon les performances HF du récepteur que l'on

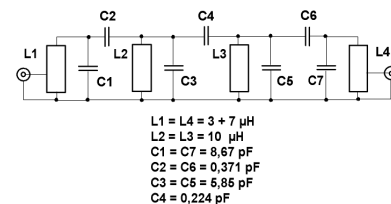


Figure 8: Filtre présélecteur

utilisera, un présélecteur d'entrée s'avérera peut-être nécessaire. Il s'agit d'un filtre passe-bande passif centré sur la bande à recevoir (20 MHz dans notre cas), dont le rôle est d'éliminer les signaux hors bande utile. De nombreux récepteurs sont en effet sujets à des phénomènes d'intermodulation.

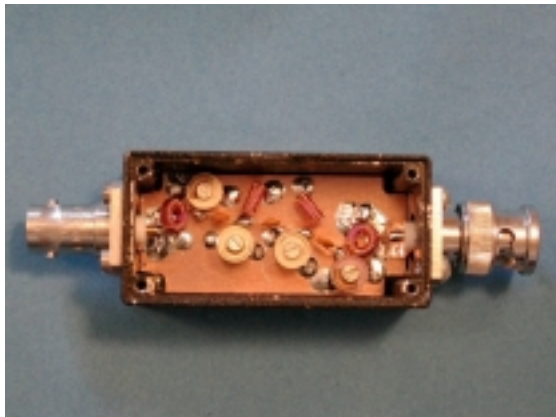
Des signaux très puissants arrivent parfois, bien qu'ils soient sur des fréquences éloignées de celle qu'on écoute, à polluer la réception à cause de phénomènes de distorsion et de saturation qui se produisent dans les étages HF ou dans les étages mélangeurs du récepteur.

Un modèle de filtre efficace, calculé et réalisé par Jeff F6CWN est représenté figure 8.

Les valeurs indiquées sur le schéma sont des valeurs théoriques permettant d'obtenir un filtre passe bande couvrant de 19,3 MHz à 20,6 MHz.

La perte d'insertion théorique dans la bande passante utile est de 1,52 dB.

En pratique, en utilisant des condensateurs ajustables 3/10 pF pour C1, C3, C5 et C7,



Exemple de réalisation du filtre

des condensateurs céramique de 4,7 pF pour C2, C4 et C6 et des tores RTC 4322-020-9716 violets ($A = 20$) pour les inductances, on obtient une perte d'insertion du filtre de - 6 dB environ. Des bobinages sur air donneraient de meilleurs résultats, mais le filtre tel qu'il existe est suffisant pour notre application.

Les 4 inductances comportent toutes 17 spires de fil émaillé 34/100^{ème} (diamètre non critique) bien réparties sur toute la longueur des tores de ferrite. Les prises intermédiaires sur L1 et L4 sont placées à 5 spires du point froid.

Tous les composants du filtre doivent être montés dans un boîtier métallique entièrement fermé équipé de prises coaxiales pour l'entrée et la sortie (voir photo).

Le filtre s'insérera en série entre l'antenne et le récepteur et sera placé à proximité immédiate du récepteur.

Le réglage des condensateurs ajustables est à effectuer de façon à obtenir le maximum de signal sur 20 MHz.

3.2.3. Le récepteur

Tout récepteur décamétrique couvrant la bande 18 à 22 MHz et capable de démoduler la modulation d'amplitude peut être utilisé, à condition que sa sensibilité soit de l'ordre de 0,1 μ V, ou mieux. La bande passante FI doit être au moins égale à 5 kHz, sinon plus.

Il est utile mais non indispensable de pouvoir inhiber l'action de la Commande Automatique de Gain (CAG).

Le récepteur doit posséder une sortie audio casque ou une sortie ligne qui sera utilisée pour se connecter à l'entrée ligne de la carte-son du PC.

Un câble blindé de qualité audio sera employé pour relier le récepteur au PC.

Nous avons personnellement testé deux types de récepteurs :

- un récepteur toutes bandes ICOM IC-PCR 1000 qui permet l'écoute tous modes de 10 kHz à 1300 MHz,
- un transceiver décamétrique ICOM IC-738.

Parmi les avantages de l'IC-PCR 1000, on notera qu'il est très souple d'emploi, qu'il se pilote entièrement par PC, qu'il présente des bandes passantes FI réglables en AM de 2,8 kHz à 50 kHz et qu'il est très petit et léger (il représente la taille d'un livre). La CAG n'est pas débrayable. Sa sensibilité par contre n'est pas excellente et il est sujet (particulièrement la nuit) à des phénomènes d'intermodulation qui rendent indispensable l'utilisation d'un filtre présélecteur passif (voir plus haut).

Couplé à un PC portable, l'IC-PCR 1000 est donc intéressant pour constituer une station de réception portable de faible volume que l'on pourra alimenter entièrement par une batterie 12 V. On pourra installer cette station en pleine nature, loin de tous parasites urbains et industriels, et avec des antennes parfaitement dégagées de tout obstacle.

La partie réception du transceiver IC-738 est plus performante que celle de l'IC-PCR 1000 et donne d'excellents résultats. Sa sensibilité et sa résistance à la transmodulation sont bonnes, ce qui en fait un récepteur convenable pour nos essais. Ce transceiver peut également être piloté par PC, ce qui offre des possibilités intéressantes en ce qui concerne l'automatisation des opérations.

3.2.4. Le PC

Un PC complète notre système d'écoute. Son rôle est de nous assister dans les tâches principales suivantes :

- prédiction des périodes favorables aux émissions décamétriques de Jupiter

- enregistrement programmé et archivage des signaux reçus
- dépouillement des enregistrements et recherche des phénomènes intéressants
- pilotage éventuel du récepteur.

Equipé d'un Pentium 400 MHz ou plus tournant sous Windows 9x, le PC devra comporter au moins 32 Mo de RAM afin que les temps de traitement durant les analyses ne soient pas prohibitifs.

Le PC devra nécessairement être pourvu d'une carte son compatible SoundBlaster.

Le disque dur devra comporter plusieurs centaines de Mo disponibles, afin de pouvoir enregistrer des fichiers audio volumineux représentant plusieurs heures d'enregistrement

Un graveur de CD-ROM, bien que non indispensable, sera le bienvenu pour archiver les données audio : une demi-heure d'enregistrement continu d'un signal monophonique codé sur 8 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 11025 Hz représente en effet un volume de 20 Mo environ.

On utilisera des CD-ROM réinscriptibles pour le stockage des signaux audio numérisés: on pourra ainsi effacer les heures d'enregistrements qui, une fois dépouillées, ne présentent pas d'intérêt.

A défaut de graveur de CD ROM, un lecteur/enregistreur ZIP muni de disquettes de capacité 100 ou 250 Mo est également un bon moyen d'archivage.

Enfin, le PC doit être équipé d'un modem permettant l'accès à Internet, ce qui nous permettra de recueillir les données nécessaires aux prédictions des émissions jupitériennes et de corréler nos résultats d'écoute avec ceux de grands radiotélescopes professionnels du monde entier.

3.2.5. Les logiciels

Plusieurs logiciels nous seront utiles pour mener à bien nos essais.

La première phase d'une campagne d'essais consiste à enregistrer sur disque dur les signaux audio bruts fournis par le récepteur.

Il est recommandé d'utiliser un format PCM .wav qui ne déforme pas les signaux.

Les formats .au ou .mp3 par exemple sont à proscrire, car bien qu'ils soient beaucoup moins gourmands en volume occupé sur le disque, ils risquent d'altérer la qualité du signal enregistré, à cause des algorithmes de compression utilisés.

La fonction « Magnétophone » de Windows peut naturellement convenir pour notre usage, mais cet utilitaire oblige l'opérateur à être présent à sa station pour commander le logiciel pendant les périodes d'enregistrement.

Il est donc bien préférable d'utiliser un logiciel d'enregistrement audio dont le déclenchement est programmable à l'avance. Cela permettra à l'opérateur de vaquer à d'autres occupations (un repos bien mérité par exemple) pendant les phases actives de Jupiter.

Notre choix s'est porté sur la fonction « Timer recording » du logiciel TalkPCR de P.D. Mahy ⁱⁱⁱ. Ce logiciel, qui permet de piloter toutes les fonctions du récepteur IC-PCR1000, remplace avantageusement le logiciel ICOM d'origine fourni avec le récepteur en apportant de nombreuses fonctions supplémentaires très performantes et très ergonomiques (scanning, analyseur de spectre, banque de fréquences, enregistrement audio automatique).

Il n'est pas nécessaire de posséder un IC-PCR1000 pour utiliser la fonction « Enregistrement audio » du logiciel TalkPCR qui nous intéresse. Ce logiciel possède en effet un mode « Démo » qui permet de se passer de la présence effective du récepteur ICOM et faire des enregistrements audio programmés avec tout type de récepteur.

La deuxième phase consiste à exploiter les enregistrements pour en extraire les seuls signaux de Jupiter qui nous intéressent.

Là encore, l'utilitaire « Magnétophone » de Windows suffit en théorie, mais un outil beaucoup plus puissant, tel que Cool Edit 2000 ou Cool Edit Pro ^{iv} de la compagnie Syntrillium comporte des facilités innombrables permettant de visualiser d'un seul coup d'œil sur l'écran un enregistrement audio complet. Grâce à ses fonctions Zoom, Copier/Collier, Filtrages variés, Analyse spectrale, etc, Cool Edit permet d'extraire toute la substantifique moelle d'un enregistrement, et ce en un temps record.

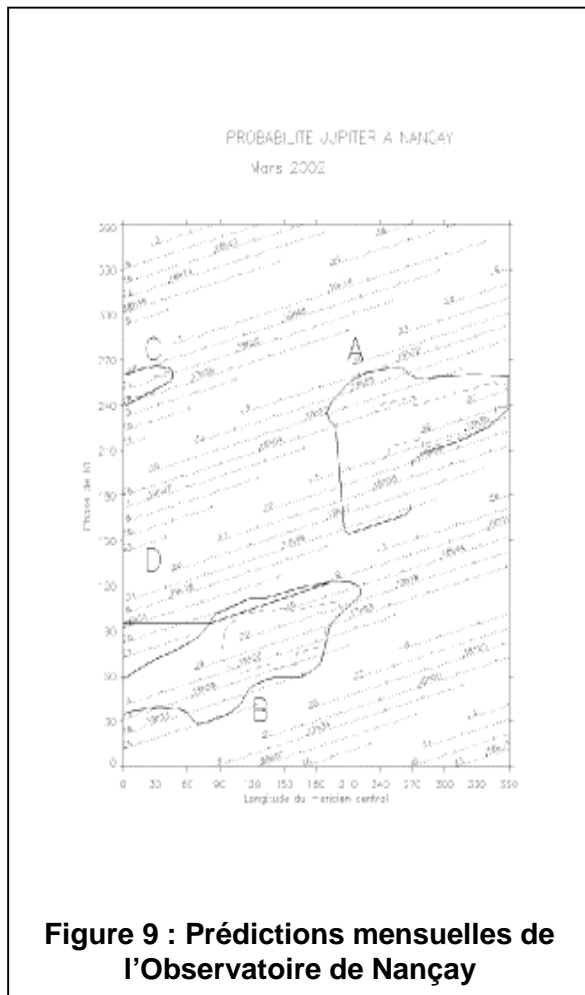
Cool Edit permet notamment d'afficher les données audio comme un oscilloscope classique, c'est-à-dire sous une forme « amplitude fonction du temps ».

On utilisera avec profit un troisième logiciel, JoveChart ^v, développé par l'astronome Ron Parise W4SIR pour le programme Radio Jove de la NASA.

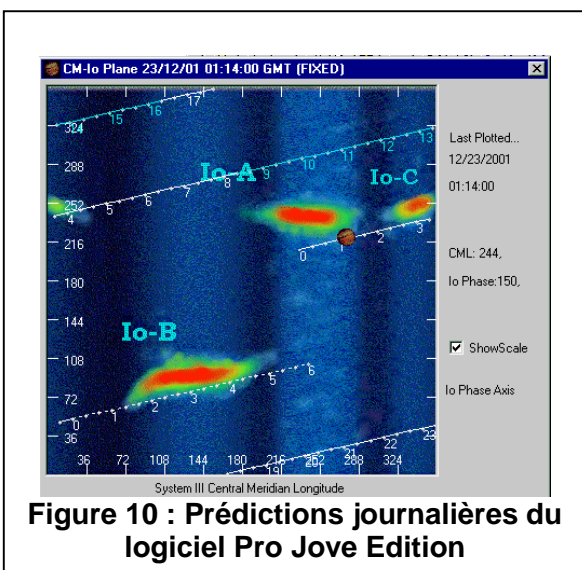
JoveChart est un « enregistreur graphique » qui permet de tracer l'amplitude d'un signal audio au cours du temps, après détection et intégration. Il nous est donc particulièrement utile pour mettre en évidence par exemple les bruits blancs dont l'amplitude varie lentement.

Enfin, le logiciel Radio Jupiter Pro Jove Edition ^{vi} de la compagnie Radio-Sky Publishing nous permettra de calculer au jour le jour les probabilités d'émissions de Jupiter et son emplacement dans le ciel.

Signalons enfin le logiciel DOS Skyglobe ^{vii} de Marc A. Haney qui est une petite merveille permettant de visualiser Jupiter (et la Lune, et le Soleil, et toutes les planètes du système solaire, et des milliers d'étoiles !) sur la voûte céleste.



Tous ces logiciels sont accessibles en version freeware, shareware ou démo sur Internet.



3.3. Jupiter, mode d'emploi

3.3.1. Prédire les moments favorables

Nous avons vu plus haut que Jupiter et Io doivent occuper des positions particulières pour que les sursauts décadiques soient reçus sur Terre. Il est possible de prédire ces périodes favorables qui se produisent avec régularité. L'Observatoire de Nançay, par exemple diffuse sur Internet ^{viii} des graphiques mensuels permettant de prévoir les périodes favorables. Un exemple est donné en figure 9. Les zones d'activité Io A, Io B et sont représentées, avec des traits obliques comportant les jours et heures TUC les plus propices.

On peut également utiliser au jour le jour le logiciel Radio Jupiter Pro Jove Edition qui donne des informations similaires (voir figure 10). Ce même logiciel donne également le site et l'azimut de Jupiter, ce qui permet de choisir la meilleure configuration d'antenne possible.

On peut enfin employer des tables calculées par l'Université de Floride ^{ix}, qui outre les prédictions de dates et de jours

Nous sommes actuellement, début 2002, dans une période particulièrement favorable : Jupiter est proche de l'opposition, donc près de la Terre, et il culmine haut dans le ciel en pleine nuit, ce qui fait que l'ionosphère ne fait pas trop écran sur 20 MHz. Il faut donc en profiter car cet été, la situation sera beaucoup moins favorable, avant de s'améliorer à nouveau à la fin de l'année. Profitez-en, mais rapidement !

3.3.2. Ecouter et enregistrer

Les phénomènes électromagnétiques de Jupiter qui nous intéressent couvrent une large bande de fréquences s'étendant de 10 à 40 MHz environ. En pratique, nous ne pourrions détecter les fréquences les plus hautes car leur amplitude est trop faible pour nos moyens d'écoute limités. Quant aux fréquences les plus basses, elles sont bloquées par l'ionosphère qui les réfléchit vers l'espace. De plus, ces fréquences basses sont fortement polluées par le trafic de télécommunications terrestres, ce qui ne facilite pas la détection de signaux large bande de faible amplitude.

Dans la pratique, la bande utile s'étend pour nous de 18 à 22 MHz. C'est la raison pour laquelle nous avons dimensionné le système d'antenne et le filtre présélecteur pour une fréquence centrale de 20 MHz.

Une toute première étape consiste à déterminer une (ou des) fréquence qui reste libre pendant les périodes où Jupiter est susceptible de se manifester.

(format PCM, fréquence d'échantillonnage : 11025

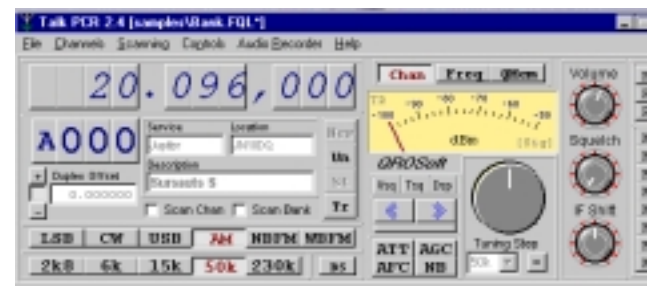


Figure 12 : Enregistreur automatique

Hz, 8 bits monophonie).

Toute autre fréquence libre comprise entre 18 et 22 MHz peut donner satisfaction.

Remarques :

- Une période favorable d'écoute pouvant durer plusieurs heures, il est judicieux de programmer plusieurs enregistrements successifs (par exemple de 21:00 à 21:30, puis de 21:30 à 22:00, puis de 22:00 à 22:30), plutôt qu'un seul enregistrement de plusieurs heures consécutives. Cela permet de manipuler des fichiers de taille raisonnable (moins de 20 mégaoctets), ce qui accélère les temps de manipulation et de post-traitement. Tant pis si un phénomène intéressant survient juste à la limite de 2 fichiers. Il sera toujours temps après coup de les rabouter grâce à Cool Edit !

- Il est possible de programmer un enregistrement stéréophonique. La deuxième voie audio de la carte son peut alors être utilisée pour des commentaires vocaux, ou être reliée à un deuxième récepteur. Ce récepteur sera alors réglé sur une fréquence d'écoute largement différente, ce qui permettra de se livrer à des corrélations de signaux provenant de Jupiter. On peut également l'accorder sur une émission de station horaire (DCF77 sur 77,5 kHz ou RWN sur 9,9995 MHz par exemple), ce qui permettra de dater les enregistrements avec précision.

- Lancer TalkPCR
- Cliquer sur « Run as demo » si vous n'utilisez pas de récepteur IC-PRC1000
- Sélectionner « Audio recorder » puis « Timer recorder ».

L'enregistreur audio peut gérer 10 enregistrements successifs qu'on peut sélectionner par onglets individuels.

Pour chaque enregistrement à programmer, renseigner la date et les heures de début et de fin prévues, la fréquence à utiliser puisée dans une banque de fréquences programmées au préalable, le nom du fichier audio choisi et le format d'enregistrement

3.3.3. Dépouiller les enregistrements

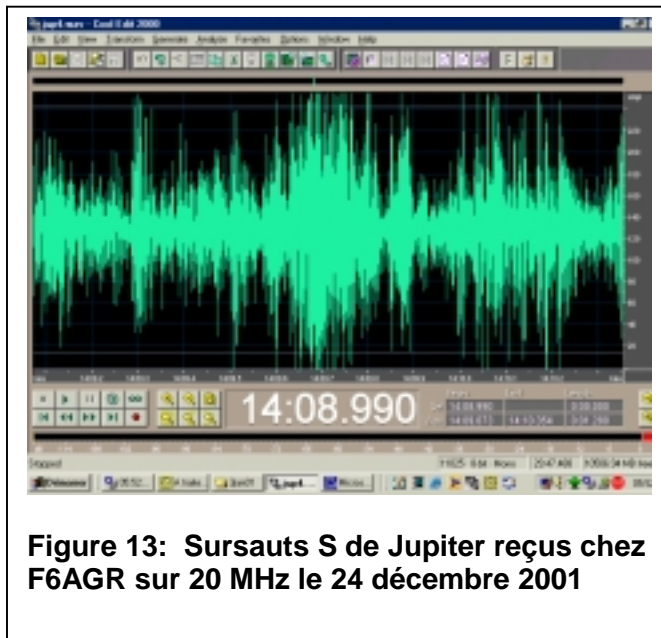


Figure 13: Sursauts S de Jupiter reçus chez F6AGR sur 20 MHz le 24 décembre 2001

Une fois les données audio enregistrées, nous allons dans un premier temps les sauvegarder en les recopiant sur une disquette ZIP ou sur un CR-ROM réinscriptible.

Il est conseillé d'archiver les fichiers dans des répertoires baptisés avec la date du jour . Le classement s'en trouvera facilité. Ainsi, on stockera par exemple dans le répertoire « 23déc01 » les fichiers jup.wav, jup1.wav,

jup2.wav, etc, créés par l'enregistreur de TalkPCR.

Chaque fichier susceptible de contenir des signaux intéressants sera alors visualisé et écouté à l'aide du logiciel Cool Edit.

La place nous manque ici pour décrire les innombrables possibilités de ce logiciel parfaitement adapté à nos besoins. Il est conseillé de passer le temps nécessaire à consulter l'aide en ligne du logiciel qui est très claire, ce qui vous permettra d'exploiter à fond toutes les puissants outils offerts.

A titre d'exemple, la figure 13 nous montre

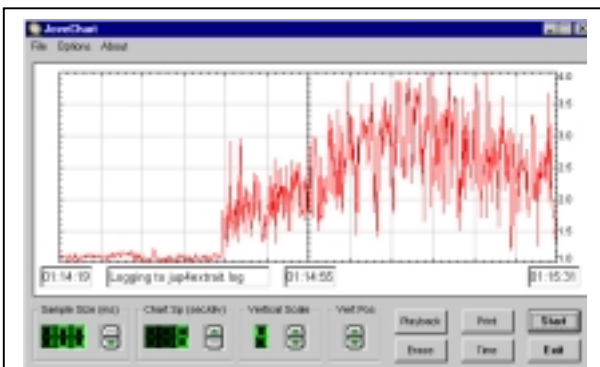


Figure 14: Courbe d'amplitude des sursauts S de Jupiter le 24/12/2001

des sursauts de type S que j'ai reçu à Epinay sur Orge, en JN18DQ, le 23 décembre 2001 vers 01:14 TUC du matin. On distingue

clairement les nombreuses rafales de bruit qui correspondent aux innombrables raies très pures qui défilent dans la bande passante étroite du récepteur, en glissant de plusieurs mégahertz ou dizaines de mégahertz par seconde. A l'oreille, on entend une succession de souffles qui ressemblent à des « ffltt » qui surviennent chaque fois qu'une raie distincte (dont la largeur instantanée ne dépasse pas quelques centaines de hertz) traverse le filtre FI du récepteur.

La figure 14, obtenue avec le logiciel enregistreur graphique de W4SIR représente la même tranche de signal détectée et intégrée.

Enfin la figure 15 correspond au dépouillement des signaux reçus au même moment par le radiotélescope décimétrique de Nançay.

Ces analyses spectrales sont accessibles sur le site internet de l'Observatoire de Nançay^x.

Elles nous sont très précieuses puisqu'elles permettent de corréler nos modestes observations avec celles d'un radiotélescope professionnel muni d'un champ de 144 antennes hélices

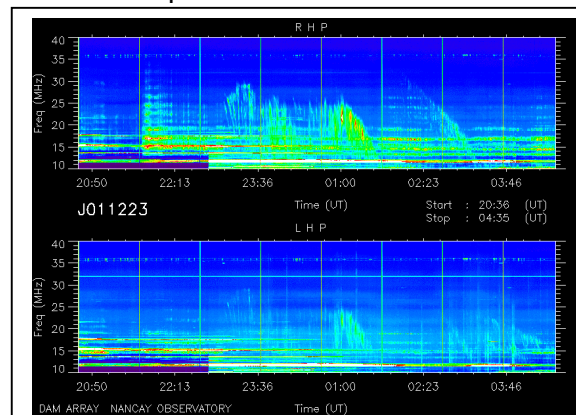


Figure 15: Activité du même jour enregistrée par l'Observatoire de Nançay

décimétriques couvrant des milliers de mètres carrés dans la campagne solognote.

L'image représentée donne la répartition spectrale du signal reçu (axe vertical gradué en fréquences) en fonction du temps (axe horizontal). L'analyse couvre la une bande complète de fréquences s'étendant de 10 à 40 MHz, et ce pour les deux sens de polarisation du signal incident (en haut, RHP signifie polarisation circulaire droite). Un codage en couleurs donne une idée de l'intensité du signal (du bleu pour les signaux faibles au blanc pour les signaux les plus puissants, en passant par le vert, le jaune et le rouge).

L'activité radio de Jupiter est clairement représentée par des « nuages » et des « plumes » de couleur, activité dont le maximum d'intensité se situe ce jour là entre 1h et 1h30 TUC, ce qui corrobore nos propres observations !

Les raies horizontales correspondent aux nombreux émetteurs radio ondes courtes qui émettent continuellement.

4. En guise de conclusion

Vous aurez compris en parcourant cet article que l'on peut débiter en radioastronomie avec des moyens facilement accessibles à tout radioamateur.

Mettre sur pied une campagne d'écoute radioastronomique avec des astronomes amateurs, ou au sein d'une école ou d'un radio-club est un exercice des plus stimulants et plein d'enseignements, très enrichissant pour tous ceux qui s'y adonnent.

Puisse cette modeste incursion au pays de la radioastronomie vous donner envie de progresser dans ce domaine passionnant.

Prédire, enregistrer, analyser, corréler avec d'autres observatoires, voilà les mots clé qui vous mèneront au succès !

F6AGR Décembre 2001

Pour en savoir plus ...

- **Livres**

Radioastronomie (en français). JL Steinberg & J. Lequeux. Dunod

Radio Astronomy (en anglais) John D. Kraus. Cygnus Quasar books

Les sursauts S de Jupiter (article en français) de Philippe Zarka, Observatoire de Meudon

- **Internet**

En utilisant les mots-clé « Magnétosphère, Jupiter, Io, S-bursts, L-bursts, sursauts S » avec votre moteur de recherche favori, vous trouverez d'intéressants sites professionnels et universitaires consacrés aux émissions décamétriques naturelles de Jupiter.

ⁱ Courriel : f6agr@amsat.org

ⁱⁱ Un Jansky (du nom de Karl G. Jansky, qui fut un pionnier de la radioastronomie en 1931) correspond à une densité de flux de 10^{-26} watts par hertz par mètre carré.

ⁱⁱⁱ <http://www.mahy.demon.co.uk/TalkPCR/TalkPCR.htm>

^{iv} <http://www.syntrillium.com/>

^v <http://www.radiosky.com/jcedownload.html>

^{vi} <http://radiojove.gsfc.nasa.gov/dal/software.htm>

^{vii} <http://www.csulb.edu/~gordon/skyglobe.html>

^{viii} http://www.obs-nancay.fr/controle_rt/dam_proba.html

^{ix} <http://www.astro.ufl.edu/juptables.html>

^x http://www.obs-nancay.fr/html_an/quicklook.htm